



## **CHAPITRE VIII : RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE**

### **VIII.1. Déchets potentiels de la ville de Fianarantsoa**

D'après le tableau 9, on peut y tirer la quantité de déchets potentiels qui sont les déchets plastiques et putrescibles.

Tableau 9 : Volume de déchets potentiels (T)

Désignations	poids (T)	pourcentage (%)
Déchets triés	679,94	100
Déchets plastiques	30,51	4,49
Déchets organiques	618,18	90,92

On peut déduire que les déchets plastiques et les déchets organiques sont les plus volumineux par rapport aux autres déchets. Ce qui signifie que les deux déchets sont la potentialité des déchets de la ville de Fianarantsoa.

### **VIII.2. L'évolution en déchets potentiels de la ville de Fianarantsoa pour les dix années à venir**

Ainsi, l'évolution en déchet potentiel de la ville de Fianarantsoa est récapitulée dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Evolution des déchets potentiels (T) en dix ans

Désignations	Année 2017	Année 2027
	Quantité Totale (T)	Quantité Totale (T)
Déchets triés (T)	679,94	841,72
Déchets plastiques	30,51	37,77
Déchets organiques (T)	618,18	765,27

Ce tableau informe l'évolution de chaque type de déchet potentiel pour les dix années à venir. Ce qui signifie que la production des déchets augmente tous les années.

### **VIII.3. Productivité en biogaz**

Le tableau suivant récapitule la productivité en gaz pour chaque échantillon obtenu.

Tableau 11 : Résultat de la productivité en gaz de chaque échantillon

Échantillons	Substrats (g)	Ferments (g)	Eau (l)	Production de gaz(l)	Production moyenne journalière en gaz(l)
Matière organique N°1	1000	100	3	47,7	1,59
Matière organique N°2	1250	125	3	42,6	1,42

D'après cette tableau, pour un cycle de 30 jours, le premier échantillon de matière organique N°1 produit plus de gaz que le second échantillon matière organique N°2, soit une production journalière de l'ordre de 1,59 l/j contre 1,42 l/j pour le second échantillon. Donc, la matière organique N°1 fournit alors un rendement meilleur par rapport à la matière organique N°2.

La figure suivante informe l'allure de la courbe correspondante à chaque échantillon.

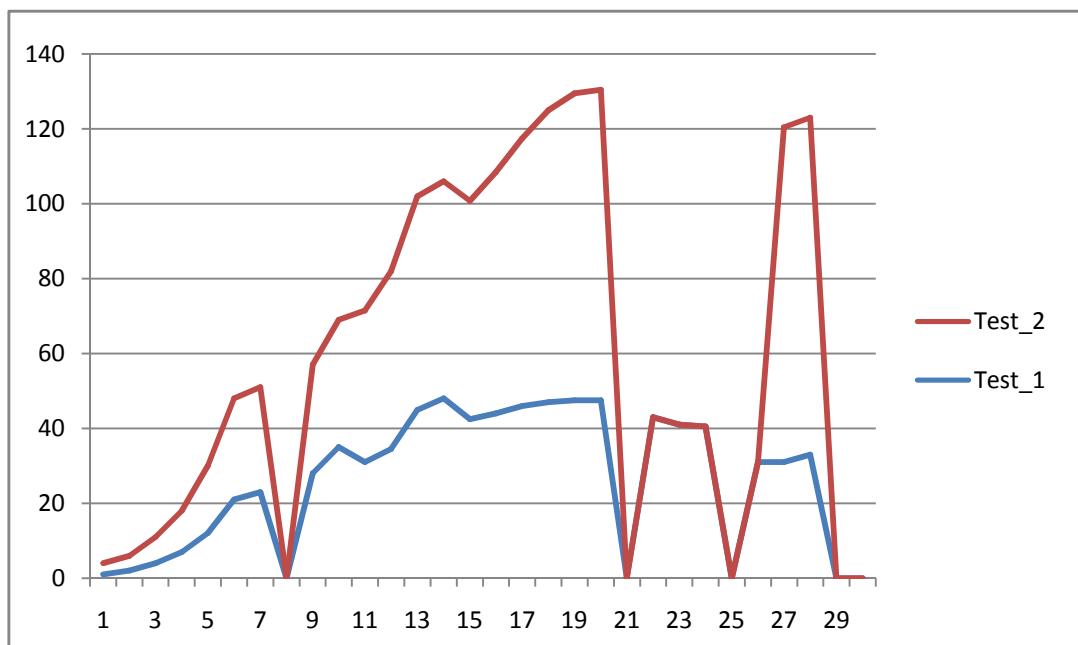


Figure 20 : Evolution de la production journalière en biogaz

Cette figure montre la production de biogaz en fonction du temps de rétention hydraulique.

### VIII.3.1. Inflammabilité du biogaz

Le biogaz obtenu s'enflamme bien en présentant une flamme bleue caractéristique représentée par la figure ci-dessous.



Figure 21 : Flamme du biogaz en dessus du gazomètre

Source : Auteur 2018

### **VIII.3.2. Potentiel et équivalence énergétique du biogaz obtenu**

Le produit obtenu est un biogaz brut non encore purifié. A travers la flamme qu'il présente, sa teneur en méthane est évaluée à environ 60 %.

Les études bibliographiques concernant les caractéristiques du biogaz ont indiqué la valeur du pouvoir énergétique d'un biogaz moyen. D'après les calculs, 47,7 l est le mieux adapté. Ces valeurs constituent des outils de déduction sur les équivalences énergétiques du biogaz résultant de la digestion du mélange de Matière organique.

Tableau 12 : Équivalence énergétique des 47,7 litres du biogaz de mélange de déchets de Matière organique

Biogaz obtenu	Autres sources d'énergie	Équivalence
47,7 litres	Charbon de bois	≈ 59,22 g
	Charbon	≈ 39,17 g
	Gaz naturel	≈ 0,029 L
	Gasoil	≈ 0,030 L
	Ethanol	≈ 0,048 L

Ce tableau récapitule l'équivalence énergétique du biogaz obtenu lors de l'expérimentation.



#### VIII.4. Production d'énergie à partir des déchets plastiques de la ville de Fianarantsoa

Nous tenons à préciser que ces déchets plastiques sont composés principalement de Polyéthylène Téréphthalate (PET), de Polypropylène (PP) et de Polyéthylène à Haite Densité (PEHD). Le tableau suivant récapitule la répartition quantitative de ces déchets plastiques.

Tableau 13 : Répartition de la composition des déchets plastiques

Désignation	Quantité (T)	Pourcentage (%)
<b>Déchets plastiques</b>	30,51	100
<b>PET</b>	15,255	50
<b>PP</b>	9,153	30
<b>PEHD</b>	6,102	20

Ce tableau informe la composition des déchets plastiques dans les bacs de la ville de Fianarantsoa.

##### VIII.4.1. Evaluation de la quantité d'énergie générée par ces déchets plastiques

Il est important de connaître la quantité d'énergie pour satisfaire la population.

Le tableau suivant récapitule ces quantités d'énergie et de chaleur.

Tableau 14 : Evaluation de la quantité de chaleur et d'énergie obtenue à partir de ces déchets plastiques

Désignation	Quantité (T)	PCI (kcal/kg)	Quantité de chaleur (Kcal)	Quantité d'énergie (Kwh)
<b>Déchets plastiques</b>	30,51			
<b>PET</b>	15,255	10994	167713470	194789,2
<b>PP</b>	9,153	10755	98440515	114332,8
<b>PEHD</b>	6,102	4870	29167560	33876,4

Ce tableau informe la quantité de chaleur et d'énergie obtenue à partir de chaque type de déchet plastique et le pouvoir calorifique.



## **CHAPITRE IX : LES PERSPECTIVES D'APPLICATION EN GRANDEUR REELLE**

Cette partie essaie de voir les perspectives d'application en grandeur réelle pour les deux cas étudiés antérieurement :

- Cas des déchets de matières organiques ;
- Cas des déchets plastiques

### **IX.1. Pour le cas des déchets de matières organiques**

Dans les chapitres antérieurs, nous avons déjà évalué la potentialité en déchets de matières organiques de l'ordre de 618,18 T pour l'année 2018 et qu'en 2028, c'est-à-dire après dix ans, les déchets en matières organiques seront de 765,27 T, soit un taux d'accroissement de 23,79%.

#### **IX.1.1. Dimensionnement du volume du réacteur (biodigesteur)**

C'est à partir de la quantité totale de matières organiques disponibles chaque jour qu'on peut déterminer le volume du réacteur moyennant le résultat de laboratoire correspondant au mélange de déchets fermentescibles. La totalité de matières organiques disponible par jour est de 1720 kg/j ou 1,72 t/j.

Tableau 15 : Quantité de Matière organique disponible par jour

Désignation	Quantité (T/an)	Quantité (T/mois)	Quantité (T/jour)
Matières organiques	618,18	51,515	1,72

Ce tableau informe que la ville de Fianarantsoa dispose de 1,72 T de matière organique.

Le tableau suivant donne le volume du digesteur requis en adéquation avec les ressources disponibles de la ville de Fianarantsoa.

Tableau 16 : Dimensionnement du biodigesteur

Désignation	Résultat de l'expérimentation (labo)	Résultat de l'exploitation en milieu réel (l)
Mélange de Matière organique (kg/j)	1	1720
Ferment (10%) (kg)	0,1	172



<b>Eau (l)</b>	3	5160
<b>Volume réacteur (l)</b>	5	51600
Production prévisionnelle de biogaz (l)		
<b>En un cycle de 30 j (l)</b>	47,7	82 044
<b>En une année :(12 cycles de 30 j) (l)</b>	572,4	984 528

Ce tableau fournit les caractéristiques du digesteur à réaliser. Le dimensionnement du digesteur sera connu en multipliant le Temps de Rétention Hydraulique (TRH) qui est de 30 jours avec la quantité de matière organique disponible chaque jour au niveau de la ville de Fianarantsoa qui est de 1720 kg/j.

Ainsi, le volume du digesteur est calculé :

$$\text{Volume du digesteur} = \text{TRH} \times \text{charge}$$

AN :

$$V = 30 \times 1720 = 51600 \text{ l, soit } 51,6 \text{ m}^3$$

$$V = 51600 \text{ l ou } 51,6 \text{ m}^3$$

## IX.1.2. Conception et composition des installations de production

### IX.1.2.1. Conception du biodigesteur

Plusieurs modèles de digesteur existent actuellement à travers le monde mais chaque modèle dépend du contexte du projet, des matières premières à fermenter, des besoins des bénéficiaires à satisfaire et du budget disponible pour la réalisation.

Pour le cas de ce travail de recherche, le type de digesteur envisagé devrait pouvoir assurer une production moyennement continue en biogaz et minimiser les coûts en matière d'investissement. Ainsi, il convient donc de concevoir et d'installer un digesteur à chargement semi-continu en briques cuites.

Le digesteur proposé est donc un modèle à cloche flottante à alimentation continue en substrats et de volume utile de :  $51,6 \text{ m}^3$ .

Le digesteur à installer dans la ville de Fianarantsoa est de modèle à cloche flottante conformément au schéma suivant.

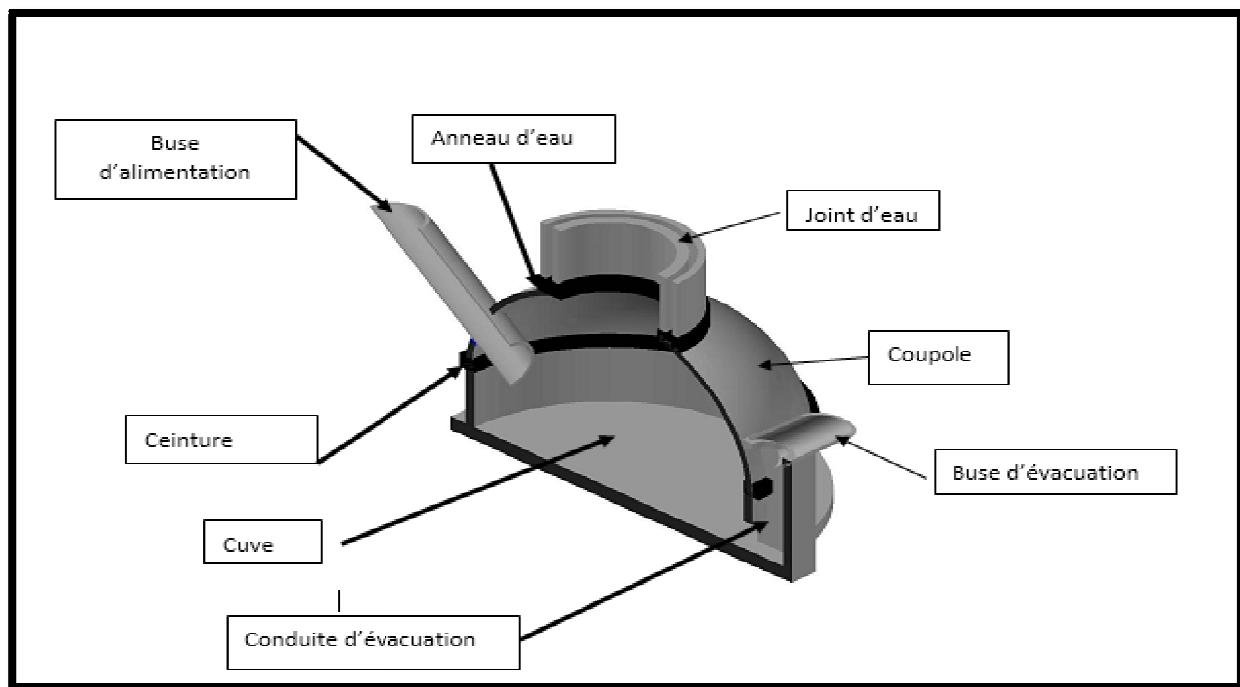


Figure 22 : Composante d'un biodigesteur (vue en coupe)

### IX.1.2.2. Composition des installations de production

Les infrastructures de production de biogaz et d'énergie électrique sont composées généralement : de digesteurs, de buse d'alimentation et d'évacuation de digestat, de joint d'eau pour faciliter le mouvement ascendant et descendant de la cloche une fois le digesteur est alimenté et de divers accessoires figurés ou non figurés sur le schéma ci-dessus tels que les tuyauteries de conduites en PET, le système anti-retour de flamme, le réservoir de stockage de gaz (cloche) et le générateur à biogaz.

#### IX.1.2.2.1. Digesteur ou cuve de fermentation

Le digesteur est l'élément principal composant les infrastructures de production de biogaz parce qu'il est le siège des réactions biochimiques de méthanisation. Les dimensions du digesteur sont fonction premièrement des disponibilités en substrats et des résultats de production visés.

Le digesteur adopté est le modèle continu avec un gazomètre métallique en forme de cloche flottante. La chambre de digestion est de forme cylindrique avec un fond courbé afin de promouvoir et faciliter la circulation des substrats de digestion et des résidus solides qui en résultent. La préservation de la continuité de la production est mise en avant



### IX.1.2.2.2. Tuyauterie en PET

Les conduites en tuyauterie de PET ont pour rôle principal d'acheminer le gaz sur l'ensemble des installations. On utilise des tuyaux en polyéthylène de diamètre intérieur 2,5 cm pour faire connecter chaque partie des installations, afin d'obtenir un fonctionnement conforme aux normes.

### IX.1.2.2.3. Clapet anti-retour

Les clapets anti-retour sont des dispositifs à installer avec les conduites de gaz afin de prévenir et éviter le retour des gaz, en particulier vers les réacteurs. L'objectif étant d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble des infrastructures et minimiser le risque d'accident dû à un éventuel retour de flamme par exemple. On en installe sur la conduite de gaz juste après le gazomètre.

### IX.1.2.2.4. Robinet rotatif

Les robinets tournants sont installés sur les conduites de gaz en tuyauterie. Ils servent à ouvrir et/ou à fermer selon les besoins la circulation des gaz produits par méthanisation.

### IX.1.2.2.5. Système d'épuration du biogaz

L'utilisation du système d'épuration du biogaz est primordiale avant de pouvoir procéder à sa conversion. Il existe diverses possibilités d'épuration selon les choix. Dans le présent cas, on a opté pour la circulation du biogaz brut à travers un réservoir de pétrole qui va fixer le souffre présent dans le biogaz, sous toutes ses formes.

### IX.1.2.2.6. Générateur électrique à biogaz / Centrale à biogaz

Il s'agit d'un groupe électrogène carburé au biogaz, c'est-à-dire qu'il génère de l'énergie électrique en consommant du biogaz. Le générateur aspire le biogaz à partir de son réservoir, à savoir le gazomètre en cloche flottante, avec un débit conforme à ses caractéristiques. Le biogaz circule ensuite dans les tuyauterie de conduite, traverse le système d'épuration et arrive dans le générateur. L'utilité d'un tel générateur est primordiale pour la production électrique projetée. Ses caractéristiques sont développées en dessous.

Ci-après le schéma de principe qui donne quelques indications sur le principe de fonctionnement des futures infrastructures.

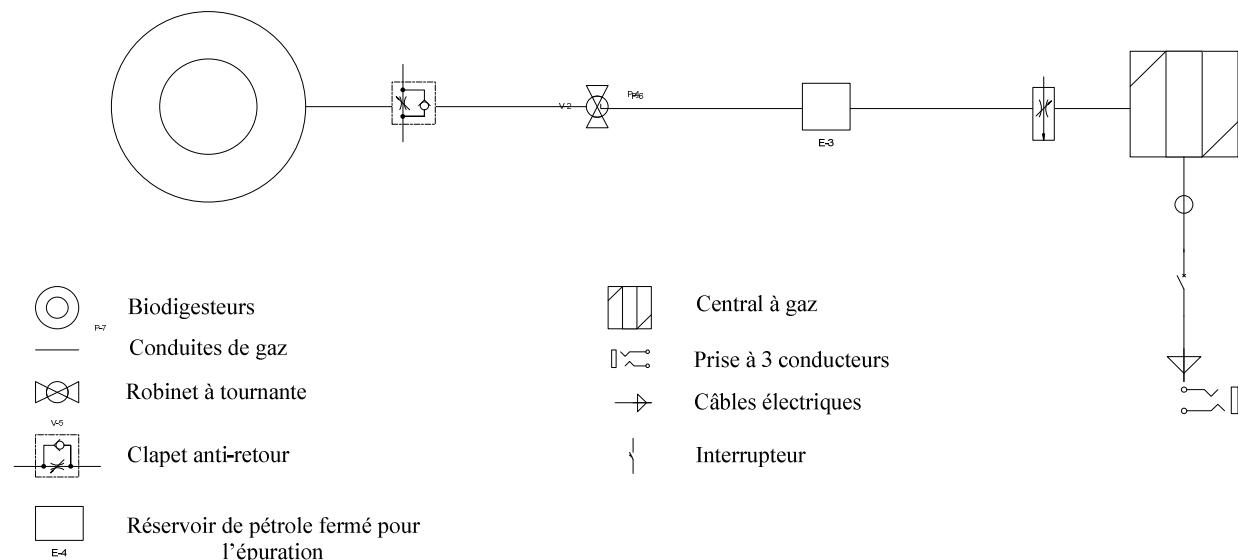


Figure 23 : Schéma de principe des installations

### IX.1.3. Exploitation Prévisionnelle de l'unité de production

Une fois que les installations de production sont opérationnelles et prêtes pour l'emploi, l'étape la plus délicate concernant son exploitation pourra être entamée. Concrètement, il s'agit d'évaluer et prévoir le mode de chargement du réacteur et d'anticiper les résultats futurs de son exploitation en se basant sur les résultats des expérimentations.

### IX.1.4. Chargement du digesteur

Le chargement du digesteur est une opération à effectuer avec une grande attention parce qu'il conditionne partiellement la bonne réussite de la fermentation à réaliser. Le chargement devrait se focaliser vers la mise en place d'une écologie favorable au développement bactérien. Ainsi, à l'aide d'un trait de jauge, la hauteur intérieure du réacteur à utiliser correspondant au volume 2/3 utilisé du volume total du réacteur est marquée.

#### IX.1.4.1. Chargement des substrats

Le chargement initial du digesteur en matière organique devrait respecter la proportion conforme aux résultats de laboratoire. Le substrat est ensuite judicieusement renouvelé



progressivement au fur et à mesure de l'avancement de la digestion et de l'évacuation des résidus.

#### **IX.1.4.2. Chargement en inoculum (ferment) : bouse de bovin**

La quantité de bouse de bovins utilisée est de 10 % par rapport à la quantité de matière organique à digérer. Les ferment introduits dans le réacteur doivent être homogénéisés avec les matières organiques.

#### **IX.1.4.3. Chargement en milieu réactionnel**

Lors de l'introduction de l'eau servant de milieu réactionnel, on en verse exactement jusqu'à la hauteur marquée par un trait afin d'assurer l'exploitation optimale du réacteur. Le tableau suivant montre la proportion de chargement à entreprendre

Tableau 17 : Proportion requise pour le chargement du digesteur

Déchets de Matière organique	Inoculum (10%)(l)	Eau (l)
1720	172	5160

Source : Auteur, 2018

#### **IX.1.5. Production Prévisionnelle en biogaz**

La valeur respective de la production en biogaz prévue lors de l'exploitation du réacteur en 30 jours (un cycle), puis en une année (douze cycles), est récapitulée dans le tableau suivant.

Tableau 18 : Évaluation de la production de biogaz à grande échelle

	Volume de biogaz produit (m <sup>3</sup> )	
Production prévisionnelle	Laboratoire	Grande échelle
En un cycle (30 jours)	0,0477	82, 044
En une année	0,572	984, 528

Source : Auteur, 2018